



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 04 109 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 29 C 45/76**  
B 29 C 45/48

②1 Aktenzeichen: 101 04 109.8  
②2 Anmeldetag: 31. 1. 2001  
④3 Offenlegungstag: 5. 9. 2002

DE 101 04 109 A 1

⑦1 Anmelder:  
Mannesmann Rexroth AG, 97816 Lohr, DE

⑦2 Erfinder:  
Dantlgraber, Jörg, 97816 Lohr, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE	195 32 267 A1
DE	195 16 627 A1
US	53 42 559
EP	11 42 688 A1
EP	07 44 267 A2

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Regelverfahren für die hydraulische Unterstützung eines elektrischen Antriebs

⑤7 Auf ein axial verfahrbares Maschinenteil wirken in Längsrichtung die Kraft eines Elektromotors, dessen Drehbewegung über ein Getriebe in eine Längsbewegung umgesetzt wird, und die Kraft des Kolbens eines hydraulischen Zylinders. Die von dem Elektromotor ausgeübte Kraft wird auf einen Wert begrenzt, bei dem noch keine Beschädigung des Getriebes erfolgt. Zur Begrenzung des von dem Elektromotor aufgebrauchten Kraftanteils wird aus dem Sollwert für die in axialer Richtung auf das Maschinenteil wirkende Kraft und dem Istwert dieser Kraft eine Regeldifferenz gebildet, die die Summe der auf das Maschinenteil in axialer Richtung wirkenden Kraftanteile steuert. Aus dem Istwert der in axialer Richtung auf das Maschinenteil wirkenden Kraft und einem die mechanische Belastbarkeit des Getriebes berücksichtigenden Wert wird ein Sollwert für die in axialer Richtung auf den Kolben wirkende Kraft gebildet. Aus dem Sollwert für die in axialer Richtung auf den Kolben wirkende Kraft und ihrem Istwert wird eine Regeldifferenz gebildet, die einen der auf das Maschinenteil in axialer Richtung wirkenden Kraftanteile steuert.  
Das Regelverfahren findet Anwendung bei Spritzgießmaschinen mit hydraulischer Unterstützung eines elektrischen Antriebs, insbesondere für den Schneckenvortrieb beim Einspritzvorgang und/oder in der Nachdruckphase.

DE 101 04 109 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Regelverfahren für die hydraulische Unterstützung eines elektrischen Antriebs für ein axial verfahrbares Maschinenteil in einer Spritzgießmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Aus der EP 0 760 277 B1 ist ein elektrischer Antrieb mit hydraulischer Unterstützung und ein Regelverfahren für einen derartigen Antrieb bekannt. Der Antrieb ist insbesondere für den Schneckenvortrieb einer Spritzgießmaschine vorgesehen. Ein Elektromotor bewegt eine Schnecke über ein mechanisches Getriebe, bei dem ein von dem Elektromotor angetriebenes Zahnrad in eine Zahnstange eingreift, in axialer Richtung. Da das Getriebe nur eine begrenzte Kraft von dem Elektromotor auf die Zahnstange übertragen kann, wird die Bewegung der Schnecke durch den Kolben eines hydraulischen Zylinders unterstützt. Die Beaufschlagung des Kolbens mit Druckmittel erfolgt aus einem Druckspeicher, der durch eine von dem Elektromotor angetriebene Pumpe versorgt wird. Ein Wegeventil steuert dabei die dem Zylinder zugeführte Druckmittelmenge. Die auf die Schnecke wirkende Kraft besteht aus zwei sich überlagernden Anteilen, einem ersten Kraftanteil, den der Elektromotor aufbringt, und einem zweiten Kraftanteil, den der Kolben aufbringt. Zu dem verwendeten Regelverfahren ist ausgeführt, daß die Beaufschlagung des Kolbens mit Druckmittel beim Erreichen einer definierten Regelgröße erfolgt, die einem festgelegten Belastungszustand des Elektromotors entspricht, wobei der Druckanstieg im Zylinder proportional zur Lastaufnahme des Elektromotors ist. Die Lastaufnahme kann dabei direkt am Elektromotor gemessen werden, z. B. durch Messung der Stromaufnahme, die ein Maß für das Drehmoment ist. Als weiteres Signal für die Regelung des Druckmittelkreislaufs ist der Istwert der Vortriebsgeschwindigkeit der Schnecke genannt, die mit der Sollgeschwindigkeit verglichen werden soll. Alternativ hierzu ist als weiteres Signal für die Regelung des Druckmittelkreislaufs der Istwert des Drucks in der Einspritzdüse genannt, der in der Nachdruckphase mit dem Solldruck verglichen werden soll. Das Drucksignal kann z. B. durch eine Kraftmessung im Verbindungsbereich von Schnecke und Zahnstange bestimmt werden. Da bei dem bekannten Regelverfahren der Druckanstieg im Zylinder so gesteuert werden soll, daß er proportional zur Lastaufnahme des Elektromotors ist, wenn ein definierter Wert überschritten worden ist, ist davon auszugehen, daß der Druckanstieg im Zylinder proportional zu einem Anstieg der Lastaufnahme des Elektromotors erfolgt. Ob und gegebenenfalls wie dafür gesorgt wird, daß dabei der von dem Elektromotor aufgebrauchte Kraftanteil den maximal zulässigen Wert, der von dem Getriebe übertragen werden kann, nicht übersteigt, ist in der Druckschrift nicht angegeben.

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Regelverfahren der eingangs genannten Art anzugeben, bei dem eine zuverlässige Begrenzung des von dem Elektromotor aufgebrauchten Kraftanteils erfolgt.

[0004] Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 gekennzeichneten Merkmale gelöst. Das erfindungsgemäße Regelverfahren erlaubt es, die von dem Elektromotor aufgebrauchte Kraft nicht größer als den maximal zulässigen Wert werden zu lassen, der von dem Getriebe übertragen werden kann. Dies ist möglich, da als Istwerte für den Regelvorgang einerseits die gesamte auf das axial verschiebbare Maschinenteil ausgeübte Kraft und andererseits die von dem Kolben auf das Maschinenteil ausgeübte Kraft verwendet werden.

[0005] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet. Die Erfindung er-

laubt es, den Elektromotor entweder in Abhängigkeit von der Regeldifferenz für die Summe der Kraftanteile von Elektromotor und Kolben anzusteuern oder aber in Abhängigkeit von der Regeldifferenz für den Kraftanteil des Kolbens. Die Ansteuerung des Kolbens mit hydraulischem Druckmittel erfolgt in Abhängigkeit von der jeweils anderen Regeldifferenz. Wird bei einer Ansteuerung des Elektromotors in Abhängigkeit von der Regeldifferenz für die in axialer Richtung auf das Maschinenteil wirkenden Kraft, d. h. der Summe der Kraftanteile von Elektromotor und Kolben, die zeitliche Ableitung ihres Sollwerts der Regeldifferenz für die auf den Kolben wirkende Kraft im Sinne einer Führungsgrößenaufschaltung überlagert, läßt sich das Führungsverhalten verbessern. Ist der Sollwert für die auf das Maschinenteil wirkende Kraft kleiner als der zulässige Wert des Kraftanteils der von dem Getriebe übertragen wird, ist es vorteilhaft, die Kraftbeaufschlagung des in axialer Richtung verschiebbaren Maschinenteils nur durch den Elektromotor erfolgen zu lassen. Hierzu wird der Sollwert für die auf den Kolben wirkende Kraft in diesem Bereich gleich Null gesetzt.

[0006] Die Erfindung wird im folgenden mit ihren weiteren Einzelheiten anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen

[0007] Fig. 1 das Blockschaltbild einer ersten Einrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Regelverfahrens in schematischer Darstellung,

[0008] Fig. 2 das Blockschaltbild einer zweiten Einrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Regelverfahrens in schematischer Darstellung und

[0009] Fig. 3 einen hydraulischen Zylinder mit einem Kolben, der von einem Elektromotor über einen Gewintrieb bewegt wird.

[0010] Die Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung das Einspritzaggregat einer Spritzgießmaschine, das mit dem Bezugszeichen 10 versehen ist. Während des Plastifizierens dreht ein Elektromotor 11 über Zahnräder 12, 13 und eine Antriebswelle 14 sowie einen Freilauf 15 eine Schnecke 16 in einem Schneckenzyylinder 17. Der linke Bereich der Antriebswelle 14, in den das Zahnrad 13 eingreift, ist als Zahnwelle ausgebildet. Die Schnecke 16 ist in axialer Richtung verfahrbar ausgebildet. Der plastifizierte Kunststoff befindet sich im Mündungsbereich des Schneckenzyinders 17. Die Schnecke 16 wird von dem plastifizierten Kunststoff gegen die Antriebswelle 14 gedrückt, die sich an einem hydraulischen Zylinder 18 abstützt.

[0011] Zum Einspritzen wechselt der Elektromotor 11 die Drehrichtung. Der Freilauf 15 entkuppelt aufgrund der Drehrichtungsumkehr die Schnecke 16 von der Antriebswelle 14. Die Schnecke 16 wird somit nicht mehr gedreht, sie bleibt jedoch weiterhin in axialer Richtung verschiebbar. Der rechte Bereich der Antriebswelle 14 bildet zusammen mit einer Mutter 19 einen Kugelgewindetrieb 20. Eine Bremse 21 hält während des Einspritzvorgangs die Mutter 19 fest. Der Elektromotor 11 dreht die Antriebswelle 14 gegenüber der Mutter 19, so daß sich die Antriebswelle 14 nach links verschiebt. Der Kugelgewindetrieb 20 übt dabei eine in axialer Richtung auf die Antriebswelle 14 wirkende Kraft F<sub>2</sub> aus, die nach links gerichtet ist. In dem Zylinder 18 ist ein Kolben 23 geführt, der über eine Kolbenstange 24 und eine Drehkupplung 25 mit dem rechten Bereich der Antriebswelle 14 verbunden ist. Die Kolbenstange 24 drückt mit einer Kraft F<sub>3</sub>, die wie die Kraft F<sub>2</sub> nach links gerichtet ist, gegen die Antriebswelle 14. Die Kraft F<sub>3</sub> ist durch die druckbeaufschlagten Flächen des Kolbens 23 und die auf diese Flächen wirkenden Drücke bestimmt. Der plastifizierte Kunststoff, der sich in dem Schneckenzyylinder 17 vor der Schnecke 16 befindet, übt beim Einspritzen eine nach

rechts gerichtete Kraft  $F_1$  auf die Antriebswelle 14 aus, die gleich der Summe der Kräfte  $F_2$  und  $F_3$  ist. Die von dem Zylinder 18 auf die Antriebswelle 14 ausgeübte Kraft  $F_3$  ist der von dem Kugelgewindetrieb 20 auf die Antriebswelle 14 ausgeübten Kraft  $F_2$  überlagert und entlastet den Kugelgewindetrieb 20, wenn die Kraft  $F_1$  einen Wert  $F_{2\text{zul}}$  überschreitet, der durch die mechanische Belastbarkeit des Kugelgewindetriebs 20 bestimmt ist.

[0012] Als Stellglied für die Kraft  $F_2$  dient der Elektromotor 11. Ein Frequenzumrichter 30 steuert die Drehzahl des Elektromotors 11 in Abhängigkeit von einer elektrischen Stellgröße  $y_E$ . Als Stellglied für die Kraft  $F_3$  dient der Zylinder 18. Eine hydraulische Steuereinrichtung 31 beaufschlagt den Zylinder 18 über hydraulische Leitungen 32 und 33 in Abhängigkeit von einer elektrischen Stellgröße  $y_H$  mit Druckmittel. In dem Freilauf 15 ist ein nicht näher dargestellter Kraftmeßumformer angeordnet, der die Kraft  $F_1$  in ein elektrisches Signal  $F_{1\text{ist}}$  umformt. Dieses Signal steht auf einer Leitung 35 an. Es dient für die weitere Signalverarbeitung als Istwert der Kraft  $F_1$ . Die Kraft  $F_3$  wird aus den Drücken, mit denen die Flächen des Kolbens 23 beaufschlagt sind, und aus der Größe dieser Flächen ermittelt. Die bodenseitige Fläche des Kolbens 23 ist mit AA bezeichnet, sie ist mit dem Druck  $p_A$  beaufschlagt. Die stangenseitige Fläche des Kolbens 23 ist mit AB bezeichnet, sie ist mit dem Druck  $p_B$  beaufschlagt. Der Druck  $p_A$  in der Leitung 32 wird von einem ersten Druckmeßumformer 36 in ein elektrisches Signal umgeformt. Dieses Signal wird von einem ersten P-Glied 37 mit einem Faktor AA multipliziert. Das Ausgangssignal des P-Glieds 37 entspricht der auf die bodenseitige Fläche des Kolbens 23 wirkenden Kraft FA. Der Druck  $p_B$  in der Leitung 33 wird von einem zweiten Druckmeßumformer 38 in ein weiteres elektrisches Signal umgeformt. Dieses Signal wird von einem zweiten P-Glied 39 mit einem Faktor AB multipliziert. Das Ausgangssignal des P-Glieds 39 entspricht der auf die stangenseitige Fläche des Kolbens 23 wirkenden Kraft FB. Ein Summierglied 42 bildet aus der Differenz der Signale FA und FB ein Signal  $F_{3\text{ist}}$ , das der von dem Kolben 23 auf die Antriebswelle 14 ausgeübten Kraft  $F_3$  entspricht. Das Signal  $F_{3\text{ist}}$  dient für die weitere Signalverarbeitung als Istwert der Kraft  $F_3$ .

[0013] Der Regleinrichtung für die auf die Antriebswelle 14 wirkenden Kräfte sind als Eingangsgrößen das Signal  $F_{1\text{soll}}$  als Sollwert für die Kraft  $F_1$  und das Signal  $F_{2\text{zul}}$  als Sollwert für die von dem Kugelgewindetrieb 20 aufzubringende Kraft  $F_2$  zugeführt.

[0014] In einem Summierglied 44 wird aus den Signalen  $F_{1\text{soll}}$  und  $F_{1\text{ist}}$  eine Regeldifferenz  $\Delta F_1$  gebildet. Die Regeldifferenz  $\Delta F_1$  ist einem Regler 45 zugeführt. Das Ausgangssignal des Reglers 45 ist dem Frequenzumrichter 30, der die Drehzahl des Elektromotors 11 verstellt, als Stellgröße  $y_E$  zugeführt. Der Regler 45 ändert in Abhängigkeit von der Regeldifferenz  $\Delta F_1$  die Drehzahl des Elektromotors 11 so lange, bis die Regeldifferenz  $\Delta F_1$  zu Null geworden ist. Das bedeutet, daß die Summe der Kräfte  $F_2$  und  $F_3$  im eingeschwungenen Zustand gleich dem Sollwert  $F_{1\text{soll}}$  ist, sagt jedoch noch nichts über die Anteile der Kräfte  $F_2$  und  $F_3$  an der Kraft  $F_1$  aus.

[0015] Für die Aufteilung der Kräfte  $F_2$  und  $F_3$  ist ein weiterer Regelkreis vorgesehen. Die Führungsgröße dieses Regelkreises ergibt sich aus dem Istwert  $F_{1\text{ist}}$  der Kraft  $F_1$  und dem Signal  $F_{2\text{zul}}$ , das die mechanische Belastbarkeit des Kugelgewindetriebs 20 berücksichtigt. Ein Summierglied 47 bildet aus den Signalen  $F_{1\text{ist}}$  und  $F_{2\text{zul}}$  ein Differenzsignal  $F_{3\text{soll}}$ . Dieses Signal ist über einen Umschalter 48 einem weiteren Summierglied 49 als Sollwert  $F_{3\text{soll}}$  für die von dem Zylinder 18 aufzubringende Kraft  $F_3$  zugeführt. Das Summierglied 49 bildet aus den Signalen  $F_{3\text{soll}}$  und  $F_{3\text{ist}}$

eine Regeldifferenz  $\Delta F_3$ , die dem Regler 50 zugeführt ist. Das Ausgangssignal des Reglers 50 ist der Steuereinrichtung 31 als Stellgröße  $y_H$  zugeführt. Die Steuereinrichtung 31 enthält eine Pumpe 53, die hydraulisches Druckmittel aus einem Tank 54 fördert. Ein Proportionalwegeventil 55, dem die Stellgröße  $y_H$  als Eingangssignal zugeführt ist, steuert den Druckmittelfluß zu dem Zylinder 18. Der Regler 50 ändert in Abhängigkeit von der Regeldifferenz  $\Delta F_3$  die dem Zylinder 18 zugeführte Druckmittelmenge und damit die auf die Antriebswelle 14 wirkende Kraft  $F_3$  so lange, bis die Regeldifferenz  $\Delta F_3$  im eingeschwungenen Zustand zu Null geworden ist. Da einerseits, wenn die Regeldifferenz  $\Delta F_1$  zu Null geworden ist, die Summe der Kräfte  $F_2$  und  $F_3$  gleich  $F_{1\text{soll}}$  ist und andererseits, wenn die Regeldifferenz  $\Delta F_3$  zu Null geworden ist, die Kraft  $F_3$  gleich  $F_{3\text{soll}}$  ist, ist die von dem Kugelgewindetrieb 20 auf die Antriebswelle 14 ausgeübte Kraft  $F_2$  gleich  $F_{2\text{zul}}$ . Dies bedeutet, daß die Kraft  $F_2$  im eingeschwungenen Zustand unabhängig von der Größe von  $F_{1\text{soll}}$  gleich  $F_{2\text{zul}}$  ist. Damit ist sichergestellt, daß die Kraft  $F_2$ , die über den Kugelgewindetrieb 20 auf die Antriebswelle 14 wirkt, den Wert  $F_{2\text{zul}}$  nicht übersteigt.

[0016] Zur Verbesserung des Führungsverhaltens der Regleinrichtung ist das Signal  $F_{1\text{soll}}$  einem Differenzierglied 58 zugeführt. Das Ausgangssignal des Differenzierglieds 58 ist dem Summierglied 49 als weiteres Eingangssignal zugeführt. Bei einer Änderung von  $F_{1\text{soll}}$  erfolgt daher bereits eine Änderung von  $F_3$ , bevor sich die Änderung von  $F_{1\text{soll}}$  über die entsprechende Änderung des Signals Eilst ausgewirkt hat. Alternativ hierzu ist es auch möglich, dem Summierglied 49 anstelle des Ausgangssignals des Differenzierglieds 58 ein entsprechendes Vorhaltssignal einer in den Zeichnungen nicht dargestellten übergeordneten Maschinensteuerung, die die Signale  $F_{1\text{soll}}$  und  $F_{2\text{zul}}$  vorgibt, zuzuführen.

[0017] Damit in den Fällen, in denen  $F_{1\text{soll}}$  kleiner als  $F_{2\text{zul}}$  ist, auf den Kolben 23 keine Kraft wirkt, die der Kraft  $F_2$  entgegengerichtet ist, ist der Umschalter 48 vorgesehen, der in seiner unteren Stellung den Sollwerteingang des Summierglieds 49 mit Bezugspotential verbindet, d. h. das Signal  $F_{3\text{soll}}$  wird auf Null gesetzt. In dieser Stellung des Umschalters 48 steuert der Regler 50 die dem Kolben 18 zugeführte Druckmittelmenge so, daß die Kraft  $F_3$  im eingeschwungenen Zustand gleich Null ist. Der Kolben 18 übt somit keine Kraft auf die Antriebswelle 14 aus. In der oberen Stellung des Umschalters 48 ist dem Summierglied 49 – wie oben bereits beschrieben – das Signal  $F_{3\text{soll}}$  als Sollwert  $F_{3\text{soll}}$  für die Kraft  $F_3$  zugeführt. Die Umschaltung zwischen den beiden Schaltstellungen des Umschalters 48 erfolgt in Abhängigkeit von der Differenz  $F_{1\text{soll}} - F_{2\text{zul}}$ , die von einem weiteren Summierglied 59 gebildet wird. Die mit  $\Delta S$  bezeichnete Differenz ist einem Schaltglied 60 zugeführt, dessen Ausgangssignal den Umschalter 48 derart betätigt, daß  $F_{3\text{soll}}$  bei negativen Werten der Differenz  $\Delta S$  gleich Null ist und bei positiven Werten der Differenz  $\Delta S$  gleich  $F_{3\text{soll}}$  ist. Ist das Signal  $F_{1\text{soll}}$  kleiner als das Signal  $F_{2\text{zul}}$  oder gleich groß wie dieses, wird die Antriebswelle 14 nur mit der Kraft  $F_2$  beaufschlagt, wobei die Kraft  $F_2$  gleich dem durch das Signal  $F_{1\text{soll}}$  vorgegebenen Wert ist. Erst wenn das Signal  $F_{1\text{soll}}$  größer als das Signal  $F_{2\text{zul}}$  ist, wird die Antriebswelle 14 mit der Summe der Kräfte  $F_2$  und  $F_3$  beaufschlagt, wobei einerseits  $F_2$  gleich dem durch das Signal  $F_{2\text{zul}}$  vorgegebenen Wert und andererseits die Summe von  $F_2$  und  $F_3$  gleich dem durch das Signal  $F_{1\text{soll}}$  vorgegebenen Wert ist.

[0018] Die Fig. 2 zeigt das bereits anhand der Fig. 1 beschriebene Einspritzaggregat 10 einer Spritzgießmaschine zusammen mit dem Blockschaltbild einer zweiten Einrichtung zur Regelung der auf die Antriebswelle 14 wirkenden Kräfte  $F_2$  und  $F_3$  entsprechend den von einer übergeordne-

ten Maschinensteuerung vorgegebenen Signalen  $F1_{\text{soll}}$  und  $F2_{\text{zul}}$ . Wie bereits im Zusammenhang mit der Fig. 1 beschrieben, wird die Summe der Kräfte  $F2$  und  $F3$  von dem in dem Freilauf 15 abgeordneten Kraftmeßumformer gemessen und in das Signal  $F1_{\text{ist}}$  umgeformt. Die Kraft  $F3$  wird aus den Drücken  $pA$  und  $pB$  ermittelt und unter Berücksichtigung der Größe der von diesen Drücken beaufschlagten Flächen  $AA$  bzw.  $AB$  des Kolbens 23 zu dem Signal  $F3_{\text{ist}}$ , dem Istwert der Kraft  $F3$ , verknüpft. Die Kraft  $F2$ , die der Kugelgewindetrieb 20 auf die Antriebswelle 14 ausübt, wird auch in diesem Ausführungsbeispiel nicht gemessen. Wie ebenfalls bereits im Zusammenhang mit der Fig. 1 beschrieben, bildet das Summierglied 44 aus dem Sollwert  $F1_{\text{soll}}$  für die Summe der auf die Antriebswelle 14 wirkenden Kräfte  $F2$  und  $F3$  und aus deren Istwert  $F1_{\text{ist}}$  die Regeldifferenz  $\Delta F1$ , die dem Regler 45 zugeführt ist. Das Summierglied 47 bildet aus den Signalen  $F1_{\text{ist}}$  und  $F2_{\text{zul}}$  den Sollwert  $F3_{\text{soll}}$  für die Kraft  $F3$ , die der Kolben 23 auf die Antriebswelle 14 ausübt. [0019] Das Summierglied 49 bildet aus dem Sollwert  $F3_{\text{soll}}$  für die Kraft  $F3$  und aus deren Istwert  $F3_{\text{ist}}$  die Regeldifferenz  $\Delta F3$ , die dem Regler 50 zugeführt ist. Anders als bei der in der Fig. 1 dargestellten Regeleinrichtung ist das Ausgangssignal des Reglers 45 der hydraulischen Steuereinrichtung 31 als Stellgröße  $y_H$  zugeführt. Der Regler 45 stellt die Kraft  $F3$  in Abhängigkeit von der ihm zugeführten Regeldifferenz  $\Delta F1$  so lange, bis das Signal  $F1_{\text{ist}}$ , das ein Maß für die Summe der Kräfte  $F2$  und  $F3$  ist, im eingeschwungenen Zustand gleich dem Signal  $F1_{\text{soll}}$  geworden ist. Die Regelung der Summe der Kräfte  $F2$  und  $F3$  erfolgt hier durch Verstellen der Kraft  $F3$ . Das Ausgangssignal des Reglers 50 ist dem Frequenzumrichter 30 als Stellgröße  $y_e$  zugeführt. Der Frequenzumrichter 30 steuert die Drehzahl des Elektromotors 11 und damit die über den Kugelgewindetrieb 20 auf die Antriebswelle 14 ausgeübte Kraft  $F2$ . Der Regler 50 stellt die Kraft  $F2$  in Abhängigkeit von der Regeldifferenz  $\Delta F3$  so lange, bis das Signal  $F3_{\text{ist}}$  im eingeschwungenen Zustand gleich dem Signal  $F3_{\text{soll}}$  geworden ist. Der eingeschwungene Zustand ist erreicht, wenn die Regeldifferenz  $\Delta F1$  des einen Regelkreises und die Regeldifferenz  $\Delta F3$  des anderen Regelkreises zu Null geworden sind. Damit ist sowohl die Summe der Kräfte  $F2$  und  $F3$  gleich dem durch das Signal  $F1_{\text{soll}}$  vorgegebenen Wert als auch die Kraft  $F3$ , die von dem Kolben 23 auf die Antriebswelle 14 ausgeübt wird, gleich der durch das Signal  $F3_{\text{soll}}$  vorgegebenen Wert. Dies bedeutet aber auch, daß die Kraft  $F2$  den durch das Signal  $F2_{\text{zul}}$  vorgegebenen Wert angenommen hat. Damit ist sichergestellt, daß die Kraft  $F2$ , die über den Kugelgewindetrieb 20 auf die Antriebswelle 14 wirkt, den durch das Signal  $F2_{\text{zul}}$  vorgegebenen Wert nicht übersteigt. [0020] Die Fig. 3 zeigt eine hydraulische Steuereinrichtung 63, die anstelle der in den Fig. 1 und 2 dargestellten hydraulischen Steuereinrichtung 31 einsetzbar ist. Das elektrische Steuersignal  $y_H$  ist einem Elektromotor 65 zugeführt, dessen Drehbewegung über Zahnräder 66 und 67 sowie einen Kugelgewindetrieb 68 in eine Längsbewegung umgesetzt wird. Der Kugelgewindetrieb 68 verschiebt einen Kolben 69 in einem Zylinder 70. Die Kammern des Zylinders 70 sind über die hydraulischen Leitungen 32 und 33 mit den entsprechenden Kammern des Zylinders 18 in den Fig. 1 und 2 verbunden. Bewegt der Elektromotor 65 den Kolben 69 des Zylinders 70 nach rechts, fließt Druckmittel aus der bodenseitigen Kammer des Zylinders 70 über die Leitung 32 in die bodenseitige Kammer des Zylinders 18 und verschiebt den Kolben 23 nach links. Das dabei aus der stangenseitigen Kammer des Kolbens 18 verdrängte Druckmittel fließt über die Leitung 33 in die stangenseitige Kammer des Kolbens 70. Durch entsprechende Wahl der Größe der druckbeaufschlagten Flächen der Kolben 23 und 69 läßt sich

zusätzlich eine Kraftübersetzung zwischen der auf den Kolben 69 wirkenden Kraft und der von dem Kolben 23 auf die Antriebswelle 14 ausgeübten Kraft  $F3$  erreichen.

[0021] Anstelle des Kugelgewindetriebs 20, der die Drehbewegung des Elektromotors 11 in eine Längsbewegung umsetzt, kann auch ein Rollengewindetrieb eingesetzt werden. Die Umsetzung der Drehbewegung des Elektromotors 11 in eine Längsbewegung kann aber auch durch ein von dem Elektromotor 11 angetriebenes Zahnrad erfolgen, das in eine Zahnstange eingreift und die Zahnstange in Längsrichtung bewegt. In gleicher Weise ist es möglich, den Kugelgewindetrieb 68 durch einen Rollengewindetrieb zu ersetzen oder die Drehbewegung des Elektromotors 65 über eine Zahnstange und ein in diese eingreifendes, von dem Elektromotor 65 angetriebenes Zahnrad in eine Längsbewegung umzusetzen.

#### Patentansprüche

1. Regelverfahren für die hydraulische Unterstützung eines elektrischen Antriebs für ein axial verfahrbares Maschinenteil in einer Spritzgießmaschine, insbesondere für den Schneckenvortrieb beim Einspritzvorgang und/oder in der Nachdruckphase, mit einem Elektromotor, der über ein Getriebe eine axiale Bewegung des Maschinenteils bewirkt, und mit einem mit hydraulischem Druckmittel beaufschlagbaren, in einem Zylinder verschiebbaren Kolben, dessen Bewegung der durch den Elektromotor erzeugten axialen Bewegung des Maschinenteils überlagerbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß aus dem Sollwert ( $F1_{\text{soll}}$ ) für die in axialer Richtung auf das Maschinenteil (16) wirkende Kraft ( $F1$ ) und dem Istwert ( $F1_{\text{ist}}$ ) dieser Kraft ( $F1$ ) eine Regeldifferenz ( $\Delta F1$ ) gebildet wird, die die Summe der auf das Maschinenteil (16) in axialer Richtung wirkenden Kraftanteile ( $F2$ ,  $F3$ ) steuert, daß aus dem Istwert ( $F1_{\text{ist}}$ ) der in axialer Richtung auf das Maschinenteil (16) wirkenden Kraft ( $F1$ ) und einem die mechanische Belastbarkeit des Getriebes (20) berücksichtigenden Wert ( $F2_{\text{zul}}$ ) ein Sollwert ( $F3_{\text{soll}}$ ) für die in axialer Richtung auf den Kolben (23) wirkende Kraft ( $F3$ ) gebildet wird und daß aus dem Sollwert ( $F3_{\text{soll}}$ ) für die in axialer Richtung auf den Kolben (23) wirkende Kraft ( $F3$ ) und dem Istwert ( $F3_{\text{ist}}$ ) dieser Kraft ( $F3$ ) eine Regeldifferenz ( $\Delta F3$ ) gebildet wird, die einen der auf das Maschinenteil (16) in axialer Richtung wirkenden Kraftanteile ( $F2$ ,  $F3$ ) steuert.
2. Regelverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektromotor (11) entsprechend der Regeldifferenz ( $\Delta F1$ ) zwischen dem Sollwert ( $F1_{\text{soll}}$ ) für die in axialer Richtung auf das Maschinenteil (16) wirkende Kraft ( $F1$ ) und dem Istwert ( $F1_{\text{ist}}$ ) dieser Kraft ( $F1$ ) im Sinne einer Verringerung der Differenz ( $\Delta F1$ ) angesteuert wird und daß der Kolben (23) entsprechend der Regeldifferenz ( $\Delta F3$ ) zwischen dem Sollwert ( $F3_{\text{soll}}$ ) für die in axialer Richtung auf den Kolben (23) wirkende Kraft ( $F3$ ) und dem Istwert ( $F3_{\text{ist}}$ ) dieser Kraft ( $F3$ ) im Sinne einer Verringerung der Regeldifferenz ( $\Delta F3$ ) mit Druckmittel beaufschlagt wird.
3. Regelverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Kolben (23) entsprechend der Differenz ( $\Delta F1$ ) zwischen dem Sollwert ( $F1_{\text{soll}}$ ) für die in axialer Richtung auf das Maschinenteil (16) wirkende Kraft ( $F1$ )

und dem Istwert ( $F_{1\text{ist}}$ ) dieser Kraft ( $F_1$ ) im Sinne einer Verringerung der Differenz ( $\Delta F_1$ ) mit Druckmittel beaufschlagt wird und daß der Elektromotor (11) entsprechend der Differenz ( $\Delta F_3$ ) zwischen dem Sollwert ( $F_{3\text{soll}}$ ) für die in axialer Richtung auf den Kolben (23) wirkende Kraft ( $F_3$ ) und dem Istwert ( $F_{3\text{ist}}$ ) dieser Kraft ( $F_3$ ) im Sinne einer Verringerung der Differenz ( $\Delta F_3$ ) angesteuert wird.

4. Regelverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die zeitliche Ableitung ( $dF_{1\text{soll}}/dt$ ) des Sollwerts ( $F_{1\text{soll}}$ ) für die in axialer Richtung auf das Maschinenteil (16) wirkende Kraft ( $F_1$ ) dem Sollwert ( $F_{3\text{soll}}$ ) für die in axialer Richtung auf den Kolben (23) wirkende Kraft ( $F_3$ ) im Sinne einer Führungsgrößenaufschaltung überlagert wird.

5. Regelverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollwert ( $F_{3\text{soll}}$ ) für die in axialer Richtung auf den Kolben (23) wirkende Kraft ( $F_3$ ) gleich null gesetzt wird, wenn der Sollwert ( $F_{1\text{soll}}$ ) für die in axialer Richtung auf das Maschinenteil (16) wirkende Kraft ( $F_1$ ) kleiner als der die mechanische Belastbarkeit des Getriebes (20) berücksichtigende Wert ( $F_{2\text{zul}}$ ) ist.

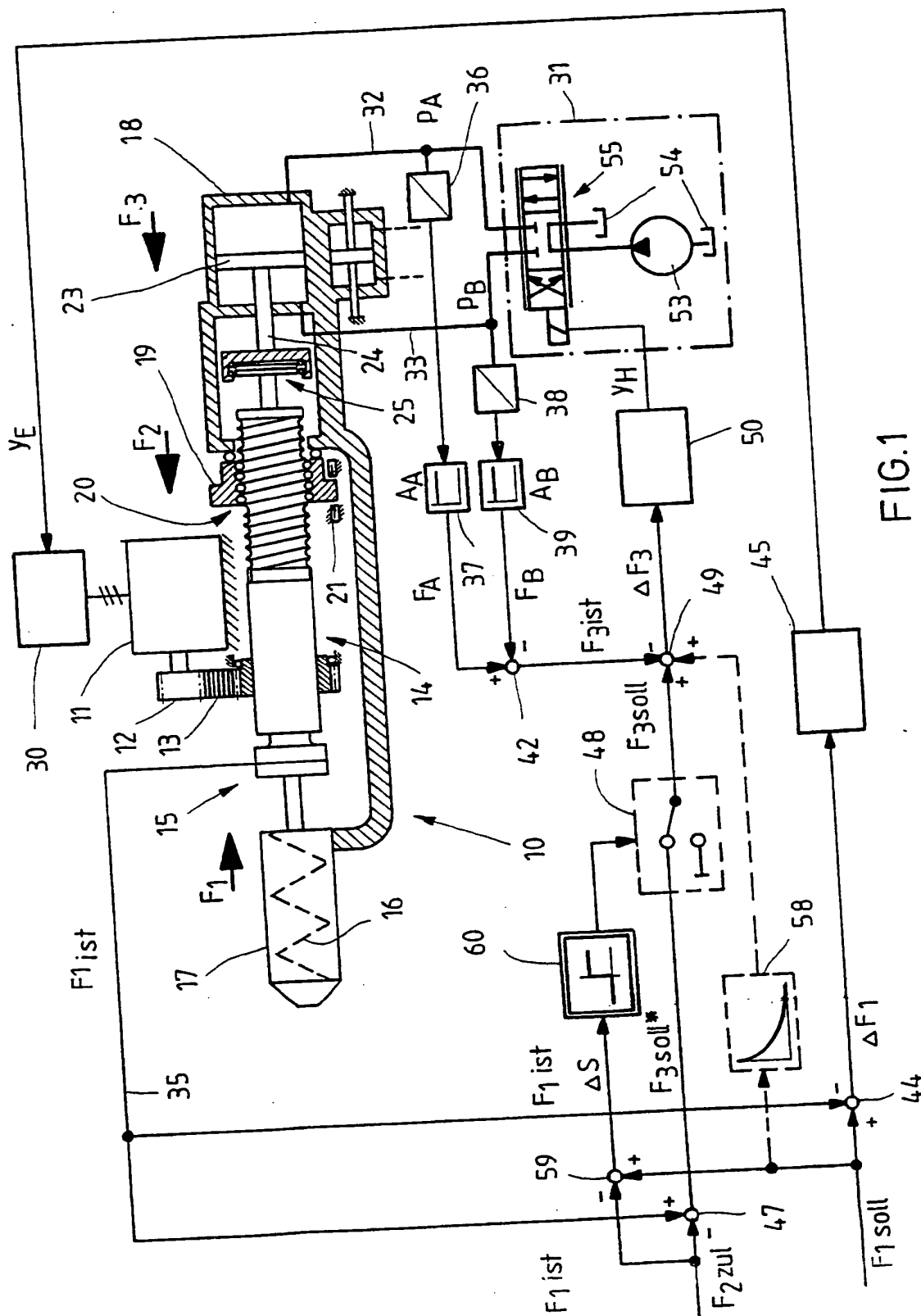
6. Regelverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die in axialer Richtung auf das Maschinenteil (16) wirkende Kraft ( $F_{1\text{ist}}$ ) durch einen Kraftsensor gemessen wird, der in dem Kraftfluß zwischen dem Maschinenteil (16) und dem Getriebe (20) angeordnet ist.

7. Regelverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die in axialer Richtung auf den Kolben (23) wirkende Kraft ( $F_3$ ) aus den auf die Flächen (AA, AB) des Kolbens (23) wirkenden Drücken ( $p_A$ ,  $p_B$ ) ermittelt wird.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---



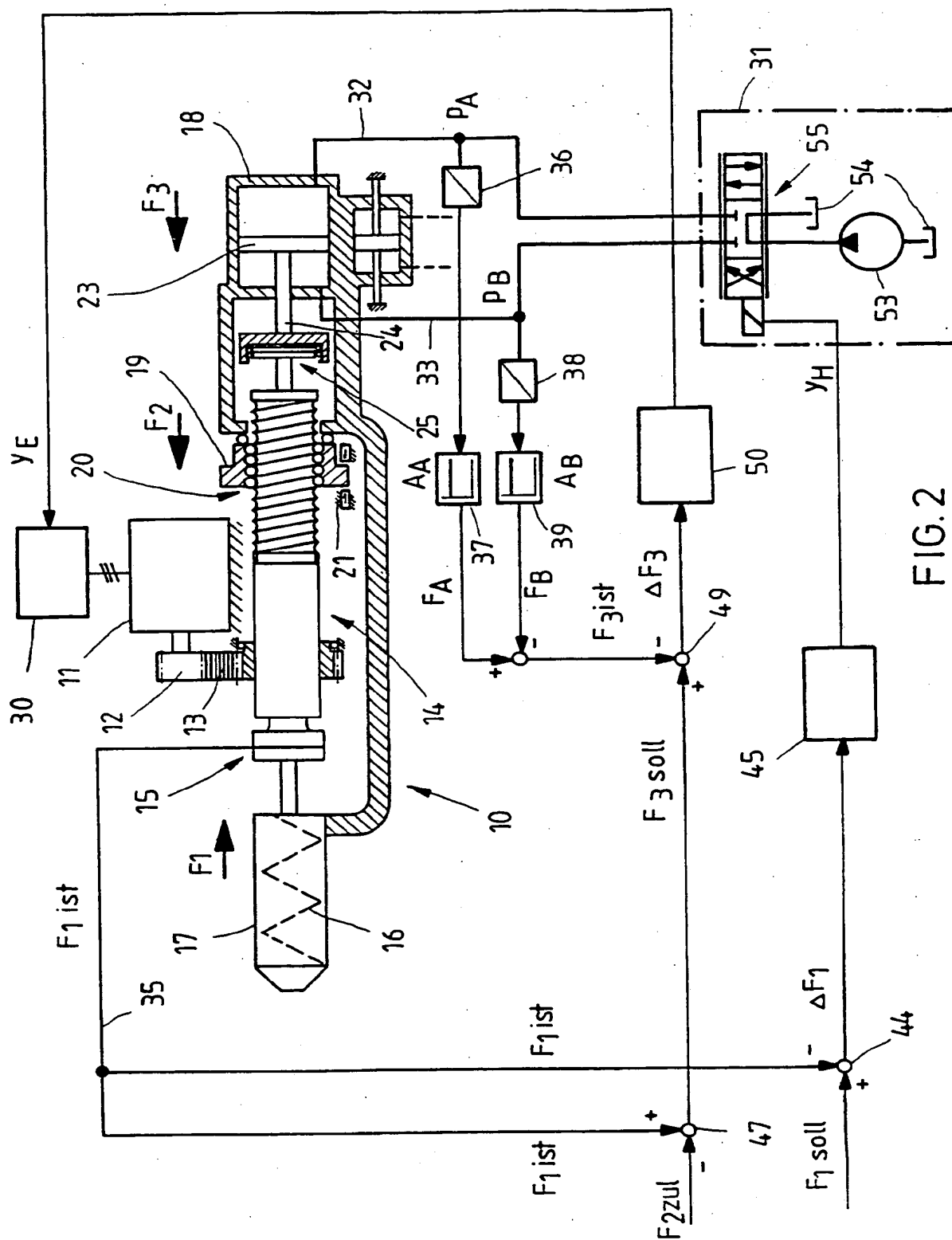


FIG. 2

FIG. 3

